УДК 681.3.06

ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПЕРЕДАЧИ НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ОТ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ В ГЛОБАЛЬНУЮ СЕТЬ ДАННЫХ

С.В. Диденко

Отдел проблем информатизации ТНЦ СО РАН, Томский политехнический университет
E-mail: didenkos@cc.tpu.edu.ru

Рассмотрены вопросы оптимизации процесса передачи навигационных данных от подвижных объектов в глобальную информационно-телекоммуникационную систему. Сформулирована задача оптимального упорядочения, предложен и описан способ её решения. Способ учитывает ряд критериев и ограничений, которые в совокупности определяют главную цель упорядочения - обеспечение максимальной степени актуализации данных о местоположении подвижных объектов в глобальной телекоммуникационной системе.

1. Введение

Одной из важнейших задач для информационно-телекоммуникационных систем регионального значения в процессе сопровождения подвижных объектов является поддержание актуальности информации об их текущем местоположении. Другими словами, это задача обеспечения работы системы в реальном масштабе времени. В процессе приема навигационной информации от подвижного объекта в диспетчерский центр (ДЦ) может возникнуть такая ситуация, когда необходимо принимать данные и от другого, а может и от нескольких подвижных объектов. Для радиоканала передача данных в таком режиме осложнена.

Цель. Необходимо распределить временные ресурсы работы канала связи ДЦ – подвижные объекты таким образом, чтобы обеспечивался полный прием навигационной информации от всех подвижных объектов системы.

Эта задача решается достаточно просто, если все абоненты в системе равнозначны и для связи с каждым из них требуются одинаковые промежутки времени, в этом случае они просто обслуживаются по очереди. Такую ситуацию можно назвать "идеальной", а значит и маловероятной.

Как правило, задача оптимального распределения интервалов времени на передачу информации от подвижных объектов в ДЦ возникает сразу же после запуска процесса сопровождения и становится особенно актуальной при сопровождении одновременно двух или более подвижных объектов. Это объясняется тем, что параметры сопровождения каждого абонента (период опроса, формат и объем навигационного блока, период фиксирования собственного местоположения и др.) различны. Учесть все эти параметры и задать более или менее правильно очередность действий системы, оператору (диспетчеру) не по силам. Функции оператора должны заключаться в определении таких параметров сопровождения, которые зависят только от выполняемых заданий каждым подвижным объектом и которые может определить только человек. К таким параметрам относят: приоритет подвижного объекта в системе; формат и размер передаваемого навигационного блока; максимальное время между сеансами связи с подвижным объектом, во время которого производится передача информации о его местоположении в ДЦ, частота фиксирования собственного местоположения подвижного объекта.

Из описания задачи следует, что при её решении должны учитываться несколько критериев и ограничений.

Критерии:

- **Минимизация периода между фиксированием истинного местоположения** подвижного объекта, что позволяет увеличить точность маршрута движения, но одновременно приводит к увеличению объема навигационных данных и, как следствие, к увеличению времени, необходимого для передачи накопленной информации от подвижного объекта в ДЦ.
- **Максимизация количества сеансов связи** с подвижными объектами, во время которых производится передачи навигационных данных, что позволит поддерживать максимальную степень актуальности информации о подвижных объектах системы.

Ограничения:

- Любые два сеанса связи с подвижными объектами не должны пересекаться по времени, т.е. следующий сеанс связи с тем или другим подвижным объектом должен начаться только после того, как закончится предыдущий.
- При условии, если два сеанса связи на передачу навигационной информации пересекаются по времени, выполниться должен тот сеанс, во время которого будет передаваться информация от подвижного объекта с большим приоритетом (обеспечение оперативности работы с "важными" подвижными объектами, оперативными группами и т.п.).

Исходя из поставленной цели, выделим в качестве основного критерия оптимизации **максимизацию количества сеансов связи с подвижными объектами**. Такой параметр, как период фиксирования собственного местоположения для каждого подвижного объекта, индивидуален. Его значение должен определить оператор системы в зависимости от задач, выполняемых конкретным подвижным объектом. Далее будем считать, что этот параметр для каждого подвижного объекта уже задан и может менять своё значение, но оптимальное решение данной задачи не учитывает его минимизации.

Дадим определение заданию. **Задание** – сеанс связи между ДЦ и одним подвижным объектом, во время которого производится передача блока закодированной навигационной информации от подвижного объекта в ДЦ.

В результате решения поставленной задачи мы должны получить очередь заданий, оптимизированную по выбранному критерию и удовлетворяющую всем ограничениям.

Таким образом, общая задача оптимизации процесса передачи навигационной информации от подвижных объектов в ДЦ заключается в определении такой очередности заданий, при которой за определенный период времени количество выполненных заданий было бы максимальным, и задания с наибольшим приоритетом выполнялись бы в первую очередь.

2. Способ оптимального упорядочения заданий

Предлагаемый ниже способ позволяет получить оптимальное, с точки зрения ***максимизации количества выполняемых заданий***, упорядочение конечного числа заданий для множества подвижных объектов на передачу навигационной информации в ДЦ.

Длительность каждого задания считаем известной, и она зависит от того, с какого подвижного объекта необходимо собрать данные, и от текущих параметров его сопровождения подвижного объекта (частота фиксирования собственного местоположения, формат и объем навигационного блока и др.).

Задача упорядочения сеансов связи с подвижными объектами, является классической задачей теории расписаний [1].

Задачи теории расписаний различаются числом выполняемых в системе работ, характером поступления их в систему и порядком участия отдельных машин в выполнении конкретной работы. В зависимости от характера поступления работ различают два вида задач: статические и динамические. В статических задачах, если система свободна, в неё поступает определенное число работ. После этого новые работы не поступают, и расписание составляется для вполне определенного и известного заранее числа работ. В динамических задачах выполнение работ происходит непрерывно. Работы поступают в систему в некоторые моменты времени, которые предсказать можно только в статистическом смысле. Поэтому моменты будущих поступлений не определены [1].

Следуя данной классификации, наша задача упорядочения относится к динамическим, так как в системе заранее не определено конечное множество заданий, которые должны быть выполнены за определенное время.

Но задача может быть сведена к статической путем разбиения её на подзадачи с фиксированным количеством *n* заданий на определенном временном интервале *t* (рис. 1). Переход к статической задаче обусловлен тем, что решение динамической задачи не представляется целесообразным в связи с большой вычислительной сложностью данного процесса и часто меняющимися внешними условиями работы системы, которые подразумевают и полную остановку процесса сопровождения, и переключение системы на другие виды работ, и многое другое, что не требует решения динамической задачи.

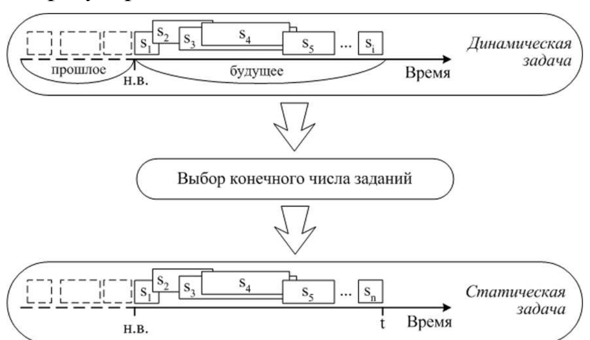


Рис. 1. *Процесс перехода от динамической задачи к статической. Н.в. – настоящее время*

Так как решать такую задачу в процессе сопровождения необходимо достаточно часто, то на каждом шаге вполне достаточно иметь решение статической задачи, содержащей задания на ближайшие сеансы связи с каждым подвижным объектом.

Переход от динамической задачи к статической представляет собой процесс формирования неупорядоченного списка заданий, содержащий не более одного задания для каждого подвижного объекта. Следовательно, максимальное количество заданий в статической задаче упорядочения может равняться количеству сопровождаемых подвижных объектов.

Дадим краткую классификацию поступающих в систему заданий.

По длительности – все поступающие в систему задания можно разделить на задания с одинаковой и с разной длительностью.

Задания с ***одинаковой длительностью*** – это задания на получение от подвижного объекта данных фиксированной длины, которые содержат информацию только о его текущем местоположении.

Задания ***с разной длительностью*** – задания на получение от подвижного объекта информации в виде навигационных блоков, которые содержат навигационную информацию о маршруте его движения и текущем местоположении в сжатом виде. Размер навигационного блока для каждого подвижного объекта может быть разным и устанавливается в индивидуальном порядке, следовательно, и время на его передачу по каналу связи будет разным для каждого объекта.

По приоритету – все поступающие в систему задания можно разделить на задания с ***приоритетом*** и без приоритета, а точнее сказать, ***с нулевым (низшим) приоритетом***.

Отсутствие или наличие приоритета у задания и его уровень обусловливается важностью данного объекта в системе, а также теми задачами, которые он выполняет.

Введем обозначения:

- x – номер подвижного объекта: $x=\overline{1,X}$, где X – общее количество подвижных объектов в системе;
- n – количество заданий, поступивших в систему за определенное время (в неупорядоченном списке);
- статическая задача упорядочения может быть записана как $n|1$, где 1 – означает, что все n заданий должны выполняться одним устройством. В нашей задаче роль исполнительного устройства выполняет канал связи между ДЦ и подвижными объектами;
- m – текущее количество заданий в упорядоченном списке, который является решением задачи (очередь заданий);
- s_i^x – задание, поступившее в систему от абонента x, где i – порядковый номер задания в списке. Каждому заданию соответствуют ряд параметров, характеризующих его – $s_i^x(r_i, a_i, p_i)$;
- r_i – момент готовности (появления) i-ого задания в системе;
- a_i – длительность i-ого задания (время, необходимое для его выполнения);
- d_i – плановый срок выполнения i-ого задания: $d_i=r_i+a_i$;
- p_i – приоритет i-ого задания в системе. Может принимать любое значение из множества натуральных чисел.

Как было сказано выше, критерием оптимального упорядочения является максимизация количества выполненных заданий m из общего количества заданий n за определенный период времени, или $m\to max$. Но поскольку каждому заданию сопоставлен приоритет перед другими заданиями, необходимо учитывать ограничение вида (1):

$$p_i\geq p_{i+1},\ \text{для}\ i = 1, ..., n-1. \qquad (1)$$

Для того, чтобы оптимальное решение удовлетворяло ограничению (1), список заданий s_i^x должен быть отсортирован по убыванию их приоритетов p_i.

Далее, задача сводится к оптимизационной задаче о выборе заявок, которая может быть решена методом динамического программирования или методом, построенным по принципу "жадного выбора", когда на каждом шаге система выбирает наилучший вариант, сводя всю задачу к оптимальному решению.

И жадный алгоритм, и динамическое программирование основываются на свойстве *оптимальности для подзадач*, поэтому может возникнуть искушение применить динамическое программирование в ситуации, где хватило бы жадного алгоритма, или напротив, применить жадный алгоритм к задаче, в которой он не дает оптимума. Задача обладает свойством оптимальности для подзадач, если оптимальное решение задачи содержит оптимальные решения её подзадач [2].

Задача упорядочения заданий на передачу навигационных данных от подвижных объектов в ДЦ обладает свойством оптимальности для подзадач т.к. при оптимальном выборе очередного задания на каждом шаге решение всей задачи можно считать оптимальным. Оптимальность выбора задания на каждом шаге можно добиться, действуя, например, **по принципу "жадного выбора"**.

Известно, что к оптимизационной задаче может быть применен **принцип "жадного выбора"** (*greedy-choice property*), если последовательность локально оптимальных (жадных) выборов дает глобально оптимальное решение. Различие между жадными алгоритмами и динамическим программированием можно пояснить так: на каждом шаге жадный алгоритм берёт "самый жирный кусок", а потом уже пытается сделать наилучший выбор среди оставшихся, каковы бы они ни были; алгоритм динамического программирования принимает решение, просчитав заранее последствия для всех вариантов [2].

Пусть в систему в определенное время поступило n заданий $s_i^x(r_i, a_i, p_i, dt_i)$ на передачу навигационной информации от подвижных объектов. Два разных задания не могут перекрываться по времени. Для каждого задания известно время его начала r_i и длительность a_i, а время его окончания d_i вычисляется как $d_i=r_i+a_i$. Разные задания могут пересекаться, и тогда можно выполнить только одно из них. Мы отождествляем каждое задание с временным промежутком $[r_i, d_i)$, так что конец одного задания может совпадать с началом другого, и это не считается пересечением.

Формально говоря, задания с номерами s_i и s_j совместны, если интервалы $[r_i, d_i)$ и $[r_j, d_j)$ не пересекаются, иными словами, если задания s_i и s_j удовлетворяют ограничению (2):

$$d_i\leq r_j\ \text{или}\ d_j\leq r_i \qquad (2)$$

Необходимо набрать максимальное количество совместных друг с другом заданий и этим свести задачу к оптимальному решению.

Теорема Джексона [1], гласит: "Расписание, минимизирующее максимум временного смещения и максимум запаздывания работ в системе $n|1$, таково, что работы выполняются в порядке возрастания плановых сроков d_i".

Отсортируем список заданий, так чтобы выполнялись условия $d_1\leq d_2\leq...\leq d_n$ для $i=1,...,n$ или в порядке возрастания времени окончания заданий, при этом задания с одинаковым временем окончания располагаем в порядке поступления их в систему (по принципу FIFO (*First In First Out*) – первый пришел – первый обслужился). Но так как для задачи действует ограничение (1), то сортировать нужно только задания с равными приоритетами внутри своей группы.

Далее, при выборе задания из списка будем формировать очередь из выбранных заданий. Первым заданием в очередь необходимо "положить" самое первое задание из списка. Далее ищем задание, начинающееся не ранее времени окончания первого задания. Если такое задание найдено, до-

бавляем его в очередь и так далее, двигаясь по списку заданий, добавляем в очередь все задания, которые начинаются не ранее окончания последнего из очереди задания.

Таким образом, для полного упорядочения списка из n заданий требуется выполнить n шагов. По принципу жадного выбора на каждом шаге выбираем задание так, чтобы остающееся свободным время было максимально.

Принцип жадного выбора для нашей задачи дает набор из максимально возможного количества совместных заданий, несовместные задания при этом игнорируются. Решением задачи упорядочения в этом случае будет являться очередь из максимально возможного количества заданий на передачу навигационной информации от подвижных объектов.

3. Модификация способа оптимального упорядочения

Используя классический вариант решения задачи методом жадного выбора, мы получили оптимальное упорядочение совместных заданий. При выборе мы "выкидывали" из очереди задания, которые не были совместны с оптимальным решением. Такое решение задачи не приемлемо: если в систему поступило задание на передачу информации от подвижного объекта, то оно должно выполниться в любом случае.

Модификация способа оптимального упорядочения заключается в том, что каждое несовместное с оптимальным решением задание мы будем приводить к совместному. Этого можно добиться путем смещения времени его начала в меньшую или большую сторону на временной оси.

Почему мы можем менять время начала выполнения задания? Ответ на этот вопрос заключается в формулировке цели самого задания.

Цель задания – инициализировать сеанс связи с подвижным объектом и собрать с него максимально-заполненный навигационный блок.

Текущий навигационный блок – блок, содержащий самые последние данные о местоположении подвижного объекта.

Зная объём навигационного блока и период фиксирования собственного местоположения для каждого подвижного объекта, можно рассчитать время, через которое навигационный блок будет полностью заполнен, а последней координатой будет текущая, и задать это время в качестве начала выполнения задания.

Введем дополнительные обозначения:

1. dt_i – период готовности i-ого задания в системе. Это величина, на которую возможно смещение r_i влево или вправо. Другими словами, при выборе оптимального времени выполнения i-ого задания r_i может меняться в меньшую или большую сторону только на значения, кратные dt_i. Новый момент готовности $r_i^{новое}$ может быть подсчитан по формуле (3), где k – некоторое целое число:

$$r_i^{новое} = r_i + k \cdot dt_i. \quad (3)$$

Значение параметра dt_i вычисляется, исходя из режима работы системы сопровождения с подвижным объектом, которому принадлежит задание s_i^x. Если система работает с объектом x в режиме накопления навигационной информации, то dt_i будет равняться времени, которое необходимо данному подвижному объекту для накопления очередного блока навигационной информации

$$dt_i = \frac{(Len^x(NavBlock) - Len^x(PackF))}{Len^x(PackD)} \cdot T_{gps}^x ,$$

где T_{gps}^x – период фиксирования местоположения, $Len^x(NavBlock)$ – длина навигационного блока, $Len^x(PackF)$, $Len^x(PackD)$ – длина первого и последующего навигационных пакетов в блоке.

Если система работает с объектом x в режиме без накопления навигационной информации, то $dt_i=0$. Это означает, что система в любой момент времени может запросить данный подвижный объект и получить от него информацию только о его текущем местоположении, т.е. r_i может быть любым.

Задание теперь можно записать как $s_i^x(r_i, a_i, p_i, dt_i)$.

2. $w_{i,i+1}$ – интервал времени между окончанием i-ого и началом следующего заданий.
3. W_n – общая длительность ожидания системы при выполнении n заданий.

$$W_n = \sum_{i=1}^{n-1} w_{i,i+1}.$$

Минимизируя общую длительность ожидания системы $W_n \rightarrow \min$ можно обеспечить максимальную плотность заданий и тем самым способствовать оптимизации решения всей задачи по критерию $m \rightarrow \max$.

Для достижения минимального значения W_n необходимо и достаточно минимизировать каждое из значений $w_{i,i+1}$, $i=1,...,n-1$.

Так как при решении задачи $m \rightarrow \max$ методом жадного выбора список заданий сортируется в порядке возрастания времени их окончании, минимизировать каждое из значений $w_{i,i+1}$, $i=1,...,n-1$ необходимо до этого этапа сортировки.

Минимизируем общую длительность ожидания системы W_n, $W_n \rightarrow \min$.

Для этого необходимо свести к минимуму время начала каждого из заданий. Это делается путем уменьшения значений r_i^x на значения, кратные dt_i^x, так, чтобы значения r_i^x удовлетворяли условию $r_1^x \geq d^x_{(предыдущее)} + dt_1^x$, где $d^x_{(предыдущее)}$ – время окончания задания для абонента x, во время которого был передан предыдущий навигационный блок.

Это означает, что если r_i^x задать так, чтобы $r_1^x < d^x_{(предыдущее)} + dt_1^x$, то в момент r_i^x на подвижном объекте текущий навигационный блок еще не будет сформирован, и, следовательно, задание на его передачу в ДЦ выполняться не должно. Таким образом, мы максимально приближаем время начала задания s_{i+1}^x ко времени окончания задания s_i^y, сводя

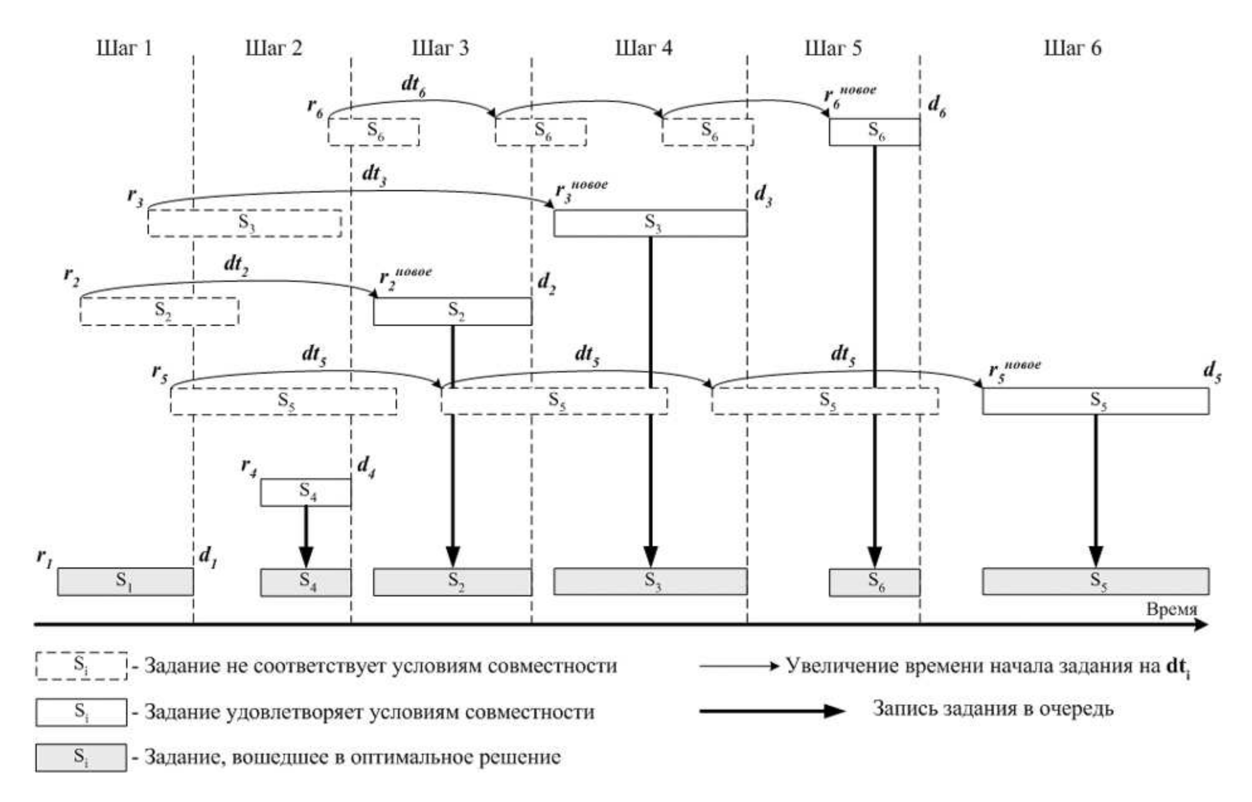


Рис. 2. *Процесс формирования очереди заданий способом оптимального упорядочения*

тем самым к минимуму значения $w_{i,i+1}$. Приводя к минимуму значения $w_{i,i+1}$, для всех пар смежных заданий, мы гарантируем, что значение W_n для конкретного набора заданий будет минимальным.

При дальнейшем решении задачи упорядочения описанным способом, в случае, если находится задание, не удовлетворяющее условию совместности с выбранным решением, задание не "выкидывается" из списка, а увеличивается время его начала r_i^x на минимальную величину, кратную значению dt_i^x, так, чтобы задание s_i^x удовлетворяло условию совместности (2). Порядок групп заданий (по приоритетам) при этом необходимо сохранить.

Графически процесс оптимального упорядочения списка заданий описанным способом изображен на рис. 2.

4. Выводы

Способ упорядочения заданий при построении оптимального решения учитывает ряд критериев и ограничений, которые, в совокупности, определяют главную цель упорядочения – обеспечение максимальной степени актуализации данных о местоположении подвижных объектов в глобальной информационно-телекоммуникационной системе.

Разработанный способ определения оптимального упорядочения заданий на передачу навигационных данных от подвижных объектов в ДЦ позволяет формировать очередь заданий на передачу навигационных данных, содержащую максимальное количество заданий для разных подвижных объектов, учитывая форматы и размеры навигационных блоков, а также приоритеты объектов в системе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конвей Р.В., Максвелл В.Л., Миллер Л.В. Теория расписаний. – М.: Наука, 1975. – 360 с.
2. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгоритмы: построение и анализ / Пер. с анг. под ред. А. Шеня. – М.: МЦНМО, 2002. – 960 с.